



日本特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application:

2000年 1月21日

出願番号
Application Number:

特願2000-013174

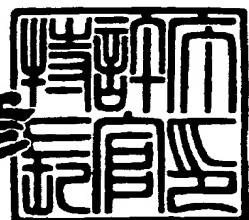
出願人
Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2000年 6月23日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近藤 隆彦



出証番号 出証特2000-3047821

【書類名】 特許願
【整理番号】 099Y0383
【提出日】 平成12年 1月21日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 C03B 37/012
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内
【氏名】 長谷川 健美
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内
【氏名】 西村 正幸
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内
【氏名】 笹岡 英資
【特許出願人】
【識別番号】 000002130
【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社
【代理人】
【識別番号】 100088155
【弁理士】
【氏名又は名称】 長谷川 芳樹
【選任した代理人】
【識別番号】 100089978
【弁理士】
【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9908938

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 軸方向に対して垂直な断面に、コア領域と、このコア領域を包囲するクラッド領域と、を有し、主媒質中に所定の断面積と、主媒質と異なる屈折率を有する複数の副媒質を含む微細構造が少なくとも前記クラッド領域に設けられ、前記各領域が軸方向に伸びる光ファイバにおいて、

前記クラッド領域は、

前記コア領域を包囲する第1クラッド領域と、

前記第1クラッド領域を包囲する第2クラッド領域と、

前記第2クラッド領域を包囲する第3クラッド領域とを有し、

前記コア領域の平均屈折率 N_{core} と、前記第1クラッド領域の平均屈折率 N_{clad1} と、前記第2クラッド領域の平均屈折率 N_{clad2} と、前記第3クラッド領域の平均屈折率 N_{clad3} と、の間に、

$$N_{core} > N_{clad2} > N_{clad3} > N_{clad1}$$

なる関係が成立することを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】 前記微細構造を含む領域の平均屈折率は、単位断面積当たりの前記副媒質の断面積を増加又は減少させることにより決められたことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項3】 前記コア領域、前記第1クラッド領域、前記第2クラッド領域、及び前記第3クラッド領域の各平均屈折率は、光波長1550nmにおける分散が-100ps/nm/km以下となるように選択されたことを特徴とする請求項1又は請求項2記載の光ファイバ。

【請求項4】 前記コア領域、前記第1クラッド領域、前記第2クラッド領域、及び前記第3クラッド領域の各平均屈折率は、光波長1550nmにおける実効コア断面積が $8 \mu m^2$ 以上となるように選択されたことを特徴とする請求項1又は請求項2記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光伝送路及び分散補償器として好適な光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】

図8は、従来から知られている微細構造を含む光ファイバの断面図である。この光ファイバは、図8に示すように、シリカガラス61の材料中に多数のボイド62（空孔）が設けられた断面構造を有する。ボイド62が無い断面中心部分がコア領域63であり、このコア領域63を包囲し、ボイド62を多数含む部分がクラッド領域64である。

【0003】

このような微細構造を含む光ファイバの光閉じ込めの原理は、定性的には実効屈折率という概念を用いて説明される（例えば、T. A. Birkら、Optics Letters Vol. 22 p. 961 (1997)）。微細構造を有するため、厳密に考えるとコア領域63及びクラッド領域64内で屈折率は複雑な分布を示すはずであるが、各領域を均一な媒体で置換して光導波特性を近似させることができると仮定し、この均一な媒体の屈折率を実効屈折率と呼ぶ。実効屈折率 n_{eff} は、次の不等式を満たす。

【0004】

【数1】

$$\left(\frac{f_1}{n_1^2} + \frac{f_2}{n_2^2} \right)^{-1} \leq n_{eff}^2 \leq f_1 n_1^2 + f_2 n_2^2 \quad \dots \quad ①$$

ここで、 n は屈折率、 f は容積分率を表す。また、添字1はシリカガラス、添字2は空気を表す。容積分率については、 $f_1 + f_2 = 1$ が成り立つ。通常、 $n_1 > n_2$ であるから、式①の最左辺と最右辺は、 f_2 の増大に伴って小さくなる。従って、ボイド62を多数含むクラッド領域64の実効屈折率は、コア領域63の実効屈折率よりも小さくなり、通常の光ファイバと同様に光閉じ込めが実現される。

【0005】

このような実効屈折率のモデルは、微細構造スケールに比べて光の波長が長い場合については妥当であると考えられる。しかし、光の波長が短くなっていくことに伴い、屈折率の高い場所に光が局在するようになるため、実効屈折率は上昇するが、同時に、屈折率分布を持つ構造を均一な媒質で置換できるという仮定も、妥当性を失っていくと考えられる。

【0006】

一方、このような光ファイバよりも大きい負分散を持つ光ファイバが、例えば、特開平10-95628号公報に開示されている。この光ファイバは、上記のような微細構造を有するが、クラッド領域が内部クラッド領域と外部クラッド領域とによって構成され、内部クラッド領域の実効屈折率が外部クラッド領域の実効屈折率よりも小さいという特徴を有する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記公報に開示されている光ファイバは、図8に示す光ファイバのように均一なクラッド構造を有する光ファイバに比べて負分散が増大する一方、実効コア断面積の低下、及び曲げ損失の増大、及び実効コア断面積の構造パラメータ変動に対する感度の増大、といった問題を有する。

【0008】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、均一なクラッド構造を有する光ファイバよりも負分散及び負分散スロープを大きくさせると共に、実効コア断面積が低下すること及び曲げ損失が増大することを抑制し、実効コア断面積の構造パラメータへの感度を低く抑えることができる光ファイバを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

請求項1記載の光ファイバの発明は、軸方向に対して垂直な断面に、コア領域と、このコア領域を包囲するクラッド領域と、を有し、主媒質中に所定の断面積と、主媒質と異なる屈折率を有する複数の副媒質を含む微細構造が少なくともク

ラッド領域に設けられ、各領域が軸方向に伸びる光ファイバにおいて、クラッド領域は、コア領域を包囲する第1クラッド領域と、第1クラッド領域を包囲する第2クラッド領域と、第2クラッド領域を包囲する第3クラッド領域と、を有し、コア領域の平均屈折率 N_{core} と、第1クラッド領域の平均屈折率 N_{clad1} と、第2クラッド領域の平均屈折率 N_{clad2} と、第3クラッド領域の平均屈折率 N_{clad3} と、の間に、 $N_{core} > N_{clad2} > N_{clad3} > N_{clad1}$ なる関係が成立する構成を探る。

【0010】

この構成により、従来の光ファイバと比較して波長変化に対する実効コア断面積の変化が小さくなるため、ピッチなどの構造パラメータの変動に対する実効コア断面積の感度を小さくすることができる。また、従来の光ファイバよりも実効コア断面積が大きく、かつ、実効コア断面積の増加ペース $d(A_{eff})/d\lambda$ が小さくなるため、コア領域における光閉じ込めが強く、曲げ損失を小さくすることができる。従って、大きな負分散と大きな負分散スロープを得ることができると共に、従来の光ファイバと比較してより大きな実効コア断面積を確保し、曲げ損失をより小さくさせることができる。また、実効コア断面積の構造パラメータに対する感度を減少させることができるとなる。

【0011】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の光ファイバにおいて、微細構造を含む領域の平均屈折率は、単位断面積当たりの副媒質の断面積を増加又は減少させることにより決められた構成を探る。

【0012】

このように、単位断面積当たりの副媒質の断面積を増加又は減少させることによって、微細構造を含む領域の平均屈折率を決めることができるために、コア領域と、第1クラッド領域と、第2クラッド領域と、第3クラッド領域との平均屈折率の大小関係を容易に決定することができる。

【0013】

請求項3記載の発明は、請求項1又は請求項2記載の光ファイバにおいて、コア領域、第1クラッド領域、第2クラッド領域、及び第3クラッド領域の各平均

屈折率は、光波長1550nmにおける分散が-100ps/nm/km以下となるように選択された構成を探る。

【0014】

この構成により、大きな負分散を有するので、他の正分散を有する光ファイバの分散を補償する際に、光ファイバの長さが短くて済むこととなる。

【0015】

請求項4記載の発明は、請求項1又は請求項2記載の光ファイバにおいて、コア領域、第1クラッド領域、第2クラッド領域、及び第3クラッド領域の各平均屈折率は、光波長1550nmにおける実効コア断面積が $8 \mu\text{m}^2$ 以上となるように選択された構成を探る。

【0016】

この構成により、大きな実効コア断面積を有するので、非線型光学現象の発生を抑制することができ、伝送品質の向上を図ることができる。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面に基づき、本発明の実施の形態について説明する。なお、各図において同一要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0018】

図1は、本発明の一実施の形態に係る光ファイバの断面における領域区分を示す図であり、図2は、上記実施の形態に係る光ファイバの微細構造を説明する断面図である。図1に示すように、本実施の形態では、断面が、コア領域1と、コア領域1を包囲する第1クラッド領域2と、第1クラッド領域2を包囲する第2クラッド領域3と、第2クラッド領域3を包囲する第3クラッド領域4とから構成される。また、これらの各領域は、図2に示すように、主媒質としてのシリカガラス5と副媒質としての多数のボイド6とから構成されている。

【0019】

本実施の形態では、各領域の屈折率を区別するため、平均屈折率という概念を用いる。実効屈折率は、近似を用いて定義されるために、定義があいまいであり

、構造の記述には適さないため、これを用いない。図3は、本実施の形態に係る光ファイバの平均屈折率の決め方を説明する図である。ある領域で着目した一つのボイド6について、他の全てのボイドとの間で垂直二等分線を引く。これらの垂直二等分線によって、ボイド6を含み、内部に垂直二等分線を含まない多角形を定義する。これをセル7と呼ぶ。このセル7において、平均屈折率 n_{avg} を次式によって算出する。

【0020】

【数2】

$$n_{avg} = \left[\frac{n^2 * (A_{cell} - A_{hole}) + A_{hole}}{A_{cell}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \quad (2)$$

ただし、nはシリカガラスの屈折率、 A_{cell} はセル面積、 A_{hole} はボイドの面積を表す。ボイド6の中心Pをセル7の位置とし、原点O（ファイバ軸）からPまでの距離をrとして、集合 { (n_{avg} , r) } を散布図として表す。

【0021】

本実施の形態では、上記の方法で決定された各領域の平均屈折率を、以下のような大小関係を付けて決めている。すなわち、コア領域の平均屈折率 N_{core} と、第1クラッド領域の平均屈折率 N_{clad1} と、第2クラッド領域の平均屈折率 N_{clad2} と、第3クラッド領域の平均屈折率 N_{clad3} と、の間に、

【0022】

【数3】

$$N_{core} > N_{clad2} > N_{clad3} > N_{clad1} \dots \dots \quad (3)$$

という関係が付けられている。

【0023】

図4は、本実施の形態における各領域の平均屈折率の散布図である。図4から分かるように、数式③における平均屈折率の大小関係が付けられている。

【0024】

各領域の平均屈折率は、ボイド6の大きさを調整して決定される。すなわち、単位断面積当たりのボイド6の断面積を増加又は減少することによって、主媒質であるシリカガラス5と副媒質であるボイド6との割合が増減するため、その領域の平均屈折率を決めることができる。本実施の形態では、下記の表のように各ボイドの大きさを定めている。表には、比較のために、従来の微細構造を含む光ファイバと併せて記載する。ここで、図3中、ピッチ $L = 2.8 \mu m$ 、層数 $m = 7$ 、シリカガラスの屈折率 $n = 1.444$ である。また、 d_0 はコア領域におけるボイド6の直径であり、 d_1 は第1クラッド領域におけるボイド6の直径であり、 d_2 は第2クラッド領域におけるボイド6の直径であり、 d_3 は、第3クラッド領域でのボイド6の直径である。また、#1、#3は従来の光ファイバのデータを示し、#2は、本発明に係る光ファイバのデータを示す。

【0025】

【表1】

構造	d_0/L	d_1/L	d_2/L	d_3/L	備考
#1	0	0.46	0.4	0.4	従来の光ファイバ
#2	0	0.46	0.38	0.4	本発明
#3	0	0.4	0.4	0.4	従来の光ファイバ

表1のデータに基づいて本発明に係る光ファイバの断面構造を決定すると、図5に示すようになる。図5は、本実施の形態に係る光ファイバの断面構造を示す図である。六方格子上にボイド6が並び、コア領域1にはボイド6が無い。第1クラッド領域2には、 $d_1/L = 0.46$ のボイド6aが、第2クラッド領域3には、 $d_2/L = 0.38$ のボイド6bが、第3クラッド領域4には、 $d_3/L = 0.4$ のボイド6cが設けられている。

【0026】

このように、単位断面積当たりの副媒質の断面積を増加又は減少することによって、微細構造を含む領域の平均屈折率を決めることができるので、コア領域と、第1クラッド領域と、第2クラッド領域と、第3クラッド領域との平均屈折率

の大小関係を容易に決定することができる。

【0027】

以上の構造を有する本実施の形態の構造分散と実効コア断面積の計算結果を、図6に示す。図6において、左側の縦軸は構造分散 D_{wg} 、右側の縦軸は実効コア断面積 A_{eff} 、横軸は光の波長 λ を示す。従来の構造#1、及び#3と本実施の形態に係る構造#2とも、波長1550nmにおける構造分散が-100ps/nm/kmとなっている。また、構造#1、#2は、波長1550nmにおける構造分散スロープが-0.5ps/nm²/kmであり、構造#3の-0.2ps/nm²/kmに比べて小さい。しかし、構造#2は、実効コア断面積が8.3μm²であり、構造#1の7.7μm²に比べて大きい。なお、構造#1、#2、#3のピッチは、それぞれ1.62μm、1.66μm、1.48μmである。

【0028】

このように、本実施の形態に係る光ファイバは、大きな負分散を得ることが可能であるため、他の正分散を有する光ファイバの分散を補償する際に、光ファイバの長さが短くて済むこととなる。また、大きな負分散と大きな負分散スロープを達成すると同時に、実効コア断面積も大きくさせることができる。そのため、非線型光学現象を抑制させ、伝送品質を向上させることができるとなる。

【0029】

図7は、本実施の形態に係る光ファイバの構造分散と実効コア断面積の計算結果を示す図であり、ここでは、波長1550nmにおける実効コア断面積 A_{eff} が8.4μm²なるようにピッチを選択した場合の計算結果を示す。波長の増加によって実効コア断面積 A_{eff} も増加するが、構造#1のグラフが構造#2のグラフを下から横切っている。従って、構造#1よりも構造#2の方が実効コア断面積 A_{eff} の増加ペース $d(A_{eff})/d\lambda$ が小さい。このように実効コア断面積の増加ペースが小さいことは、コア領域への光閉じ込めが強く、曲げ損失が小さいことを意味する。また、実効コア断面積の構造パラメータへの感度が低い。また、ピッチは、構造#1が1.54μm、構造#2が1.65μm、構造#3が1.60μmとなっている。

【0030】

このように、光閉じ込めが良く、曲げ損失が小さいので、実効コア断面積を大きくさせることができる。その結果、非線型光学現象の発生を抑制することができ、伝送品質の向上を図ることができる。

【0031】

以上のように、本発明の実施の形態に係る光ファイバによれば、従来の光ファイバと比較して大きな実効コア断面積を確保し、曲げ損失を小さくすることができると共に、大きな負分散及び負分散スロープを得ることが可能となる。また、実効コア断面積の構造パラメータに対する感度を下げることが可能となる。

【0032】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明は、主媒質中に所定の断面積と、主媒質と異なる屈折率を有する複数の副媒質を含む微細構造が少なくともクラッド領域に設けられ、各領域が軸方向に伸びる光ファイバにおいて、クラッド領域は、コア領域を包囲する第1クラッド領域と、第1クラッド領域を包囲する第2クラッド領域と、第2クラッド領域を包囲する第3クラッド領域と、を有し、コア領域の平均屈折率 N_{core} と、第1クラッド領域の平均屈折率 N_{clad1} と、第2クラッド領域の平均屈折率 N_{clad2} と、第3クラッド領域の平均屈折率 N_{clad3} と、の間に、 $N_{core} > N_{clad2} > N_{clad3} > N_{clad1}$ なる関係が成立する構成を探るため、従来の光ファイバと比較して波長変化に対する実効コア断面積の変化が小さくなる。その結果、ピッチなどの構造パラメータの変動に対する実効コア断面積の感度を小さくさせることができる。また、従来の光ファイバよりも実効コア断面積が大きく、かつ、実効コア断面積の増加ペース $d(A_{eff})/d\lambda$ が小さくなるため、コア領域における光閉じ込めが強く、曲げ損失を小さくすることができる。従って、大きな負分散及び大きな負分散スロープを得ることができると共に、従来の光ファイバと比較してより大きな実効コア断面積を確保し、曲げ損失をより小さくすることができる。また、実効コア断面積の構造パラメータに対する感度を減少させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施の形態に係る光ファイバの断面における領域区分を示す図である。

【図2】

上記実施の形態に係る光ファイバの微細構造を説明する断面図である。

【図3】

上記実施の形態に係る光ファイバの平均屈折率の決め方を説明する図である。

【図4】

上記実施の形態に係る光ファイバの平均屈折率を示す図である。

【図5】

上記実施の形態に係る光ファイバの断面構造を示す図である。

【図6】

上記実施の形態に係る光ファイバの構造分散と実効コア断面積の計算結果を示す図である。

【図7】

上記実施の形態に係る光ファイバの構造分散と実効コア断面積の計算結果を示す図である。

【図8】

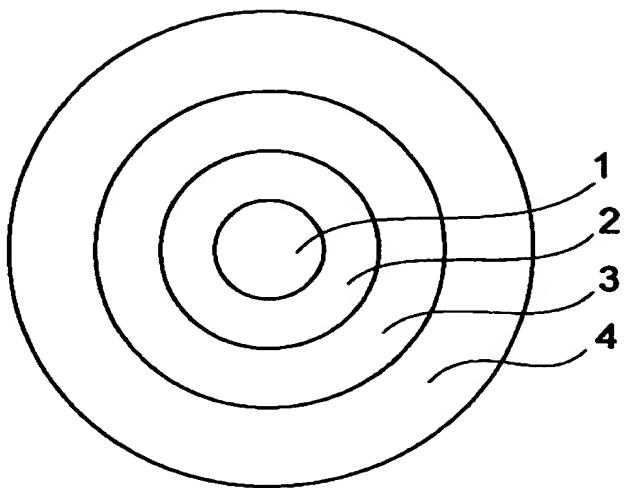
従来から知られている微細構造を含む光ファイバの断面図である。

【符号の説明】

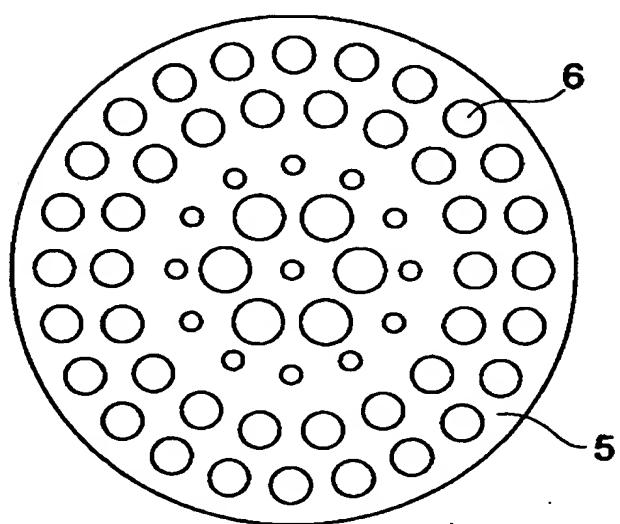
1…コア領域、2…第1クラッド領域、3…第2クラッド領域、4…第3クラッド領域、5…シリカガラス、6…ボイド、6a…ボイド、6b…ボイド、6c…ボイド、7…セル。

【書類名】 図面

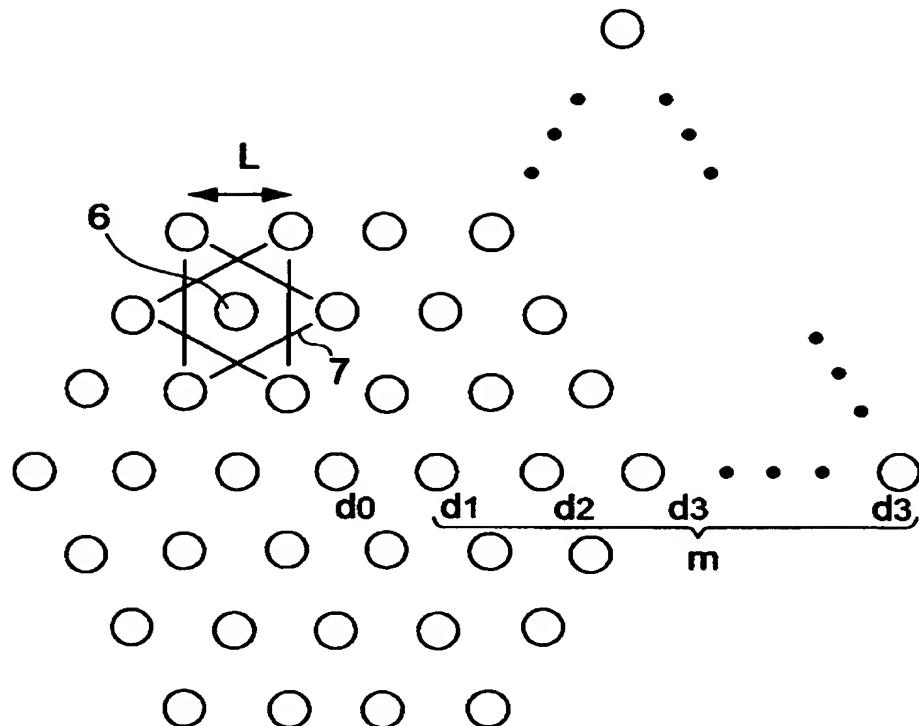
【図1】



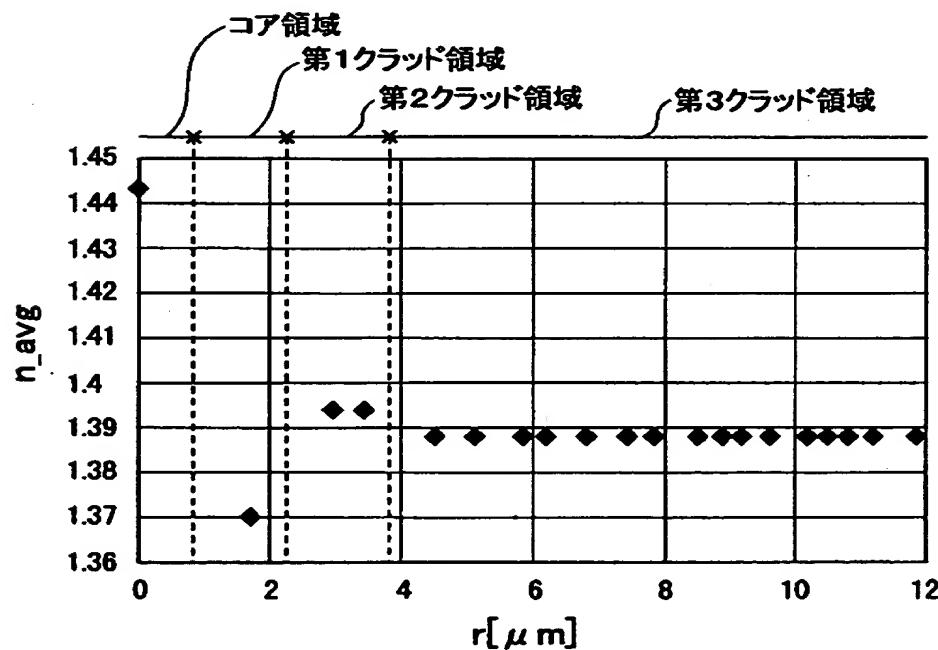
【図2】



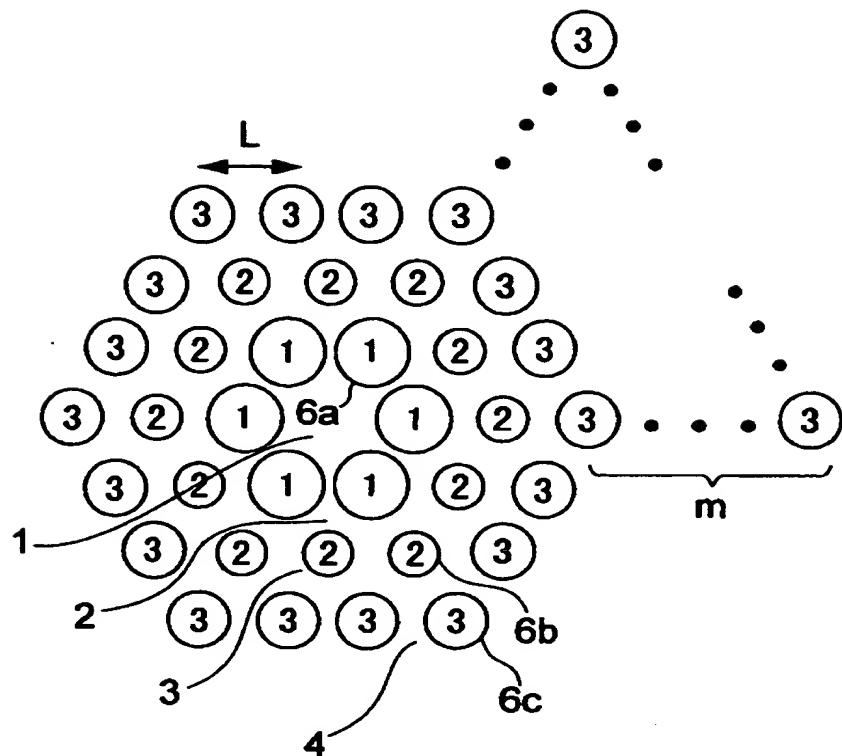
【図3】



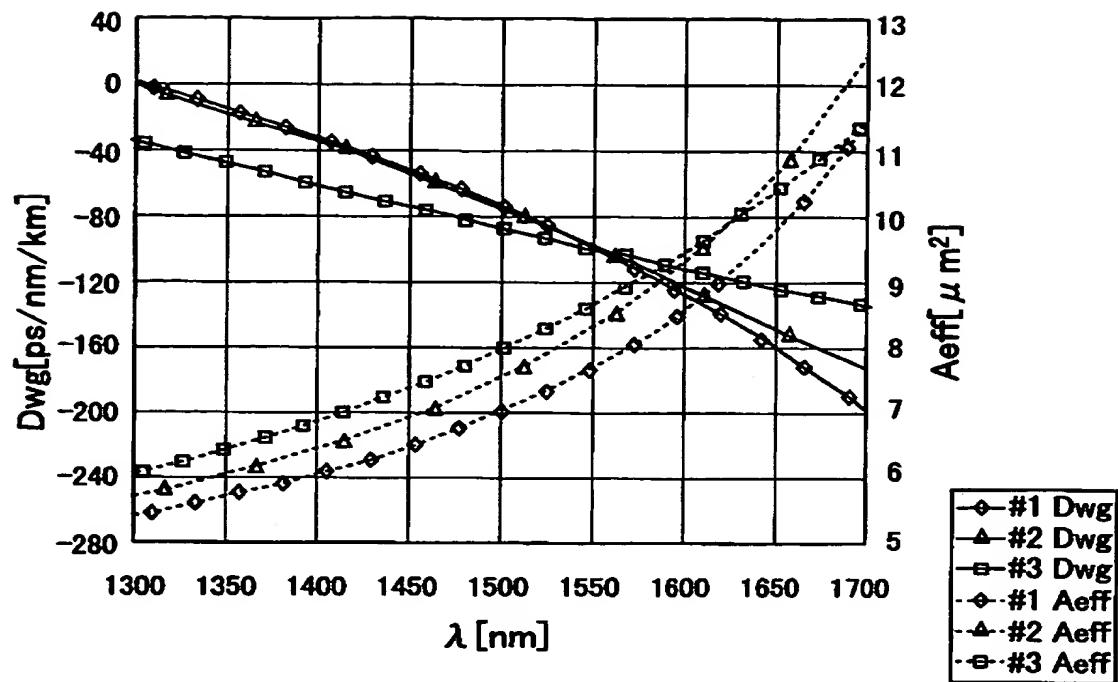
【図4】



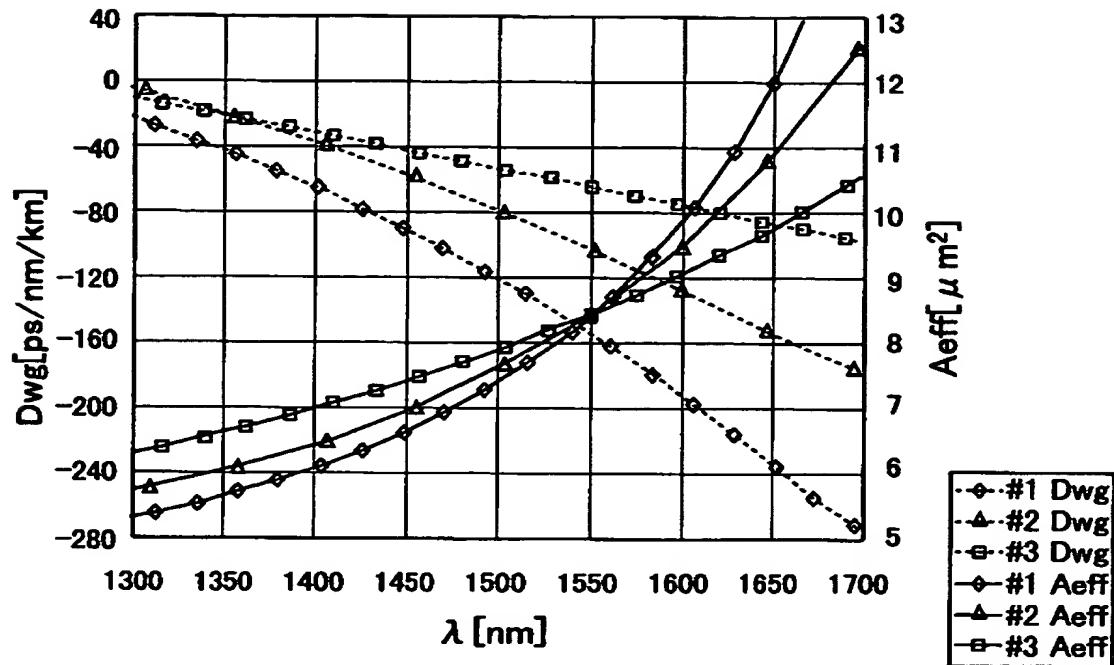
【図5】



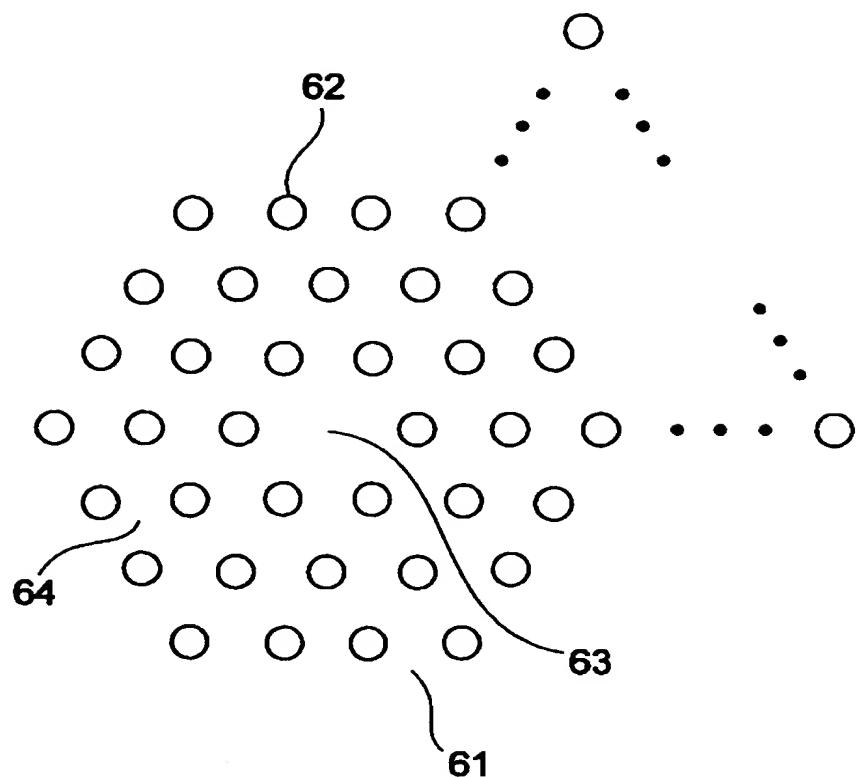
【図6】



【図7】



【図8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 負分散と負分散スロープを大きくさせると共に、実効コア断面積が低下すること及び曲げ損失が増大することを抑制し、実効コア断面積の構造パラメータへの感度を低く抑えること。

【解決手段】 主媒質中に所定の断面積を有する複数の副媒質を含む微細構造が少なくともクラッド領域に設けられ、各領域が軸方向に伸びる光ファイバにおいて、クラッド領域は、コア領域を包囲する第1クラッド領域と、第1クラッド領域を包囲する第2クラッド領域と、第2クラッド領域を包囲する第3クラッド領域と、を有し、コア領域の平均屈折率 N_{core} と、第1クラッド領域の平均屈折率 N_{clad1} と、第2クラッド領域の平均屈折率 N_{clad2} と、第3クラッド領域の平均屈折率 N_{clad3} と、の間に、 $N_{core} > N_{clad2} > N_{clad3} > N_{clad1}$ なる関係が成立する構成を探る。

【選択図】 図5

出願人履歴情報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

氏 名 住友電気工業株式会社